

D 3

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-307096

(P2001-307096A)

(43) 公開日 平成13年11月2日 (2001.11.2)

(51) Int.Cl.	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 0 6 T 7/00	3 0 0	G 0 6 T 7/00	3 0 0 E 2 F 0 6 5
	5 1 0		5 1 0 B 4 C 0 3 8
A 6 1 B 5/117		A 6 1 B 5/10	3 2 0 A 5 B 0 4 3
G 0 1 B 11/24		G 0 1 B 11/24	A 5 L 0 9 6
			K
審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 13 頁)			

(21) 出願番号 特願2000-123604 (P2000-123604)

(22) 出願日 平成12年4月25日 (2000.4.25)

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号

(72) 発明者 増本 大器

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 指田 直毅

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

(74) 代理人 100095555

弁理士 池内 寛幸

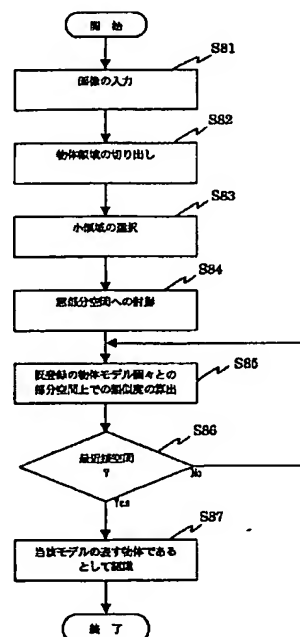
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像認識装置及び方法

(57) 【要約】

【課題】 画像認識時における入力画像の撮影条件等に依存せずに、登録されている物体モデルとの照合を精度良く行うことができる画像認識装置及び方法を提供する。

【解決手段】 撮影環境の変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化し、得られた物体モデルを事前にデータベースへ登録しておくとともに、認識対象となる物体の画像情報を入力し、事前に登録されている物体モデルと入力された画像情報を照合して、登録されている物体モデルとの類似度を割り当て、割り当てられた物体モデルの中で最も類似していると判断された認識対象となる物体の種別を出力し、物体の相対的な位置及び姿勢を変化させて撮影した複数の画像情報を入力し、入力された複数の画像情報に基づいて将来起こりうる撮影環境変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 撮影環境の変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化する物体モデル化実行部と、前記物体モデル化実行部において得られた物体モデルを事前にデータベースへ登録しておく物体モデル登録部とを有し、

認識対象となる物体の画像情報を入力する画像情報入力部と、

前記物体モデル登録部において事前に登録されている前記物体モデルと入力された前記画像情報を照合して、登録されている前記物体モデルとの類似度を割り当てる類似度判断部と、

割り当てられた前記物体モデルの中で最も類似していると判断された前記認識対象となる物体の種別を出力する物体認識部とを含み、

前記物体モデル化実行部において、固定された前記画像情報入力部に対する前記物体の相対的な位置及び姿勢を変化させて撮影した複数の前記画像情報を入力し、前記入力された複数の前記画像情報に基づいて将来起こりうる撮影環境変動による前記物体の見え方の変化を推定してモデル化することを特徴とする画像認識装置。

【請求項2】 前記認識対象となる物体の表面特性としてランバーシャン反射モデルを仮定する請求項1記載の画像認識装置。

【請求項3】 前記画像情報入力部において、画像から前記認識対象となる物体が存在する部分を切り出し、切り出された部分画像を用いて前記認識対象となる物体のモデル化を行う請求項1記載の画像認識装置。

【請求項4】 前記画像情報入力部において、画像から前記認識対象となる物体中の特徴的な小領域を選択し、選択された前記小領域に含まれる情報と前記小領域の配置情報に基づいて前記認識対象となる物体のモデル化を行う請求項1記載の画像認識装置。

【請求項5】 入力された前記画像情報に基づいて、前記物体の姿勢変化による見え方の変動と照明条件の変化による見え方の変動とを分離してモデル化を行う請求項1から4のいずれか一項に記載の画像認識装置。

【請求項6】 前記物体モデル化実行部において、入力された前記画像情報に基づいて、前記物体の姿勢変化による見え方の変動と照明条件の変化による見え方の変動とを分離せずにモデル化を行う請求項1から4のいずれか一項に記載の画像認識装置。

【請求項7】 撮影環境の変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化する工程と、得られた物体モデルを事前にデータベースへ登録しておく工程とを有し、

認識対象となる物体の画像情報を入力する工程と、事前に登録されている前記物体モデルと入力された前記画像情報を照合して、登録されている前記物体モデルとの類似度を割り当てる工程と、

割り当てられた前記物体モデルの中で最も類似していると判断された前記認識対象となる物体の種別を出力する工程とを含み、

前記物体の相対的な位置及び姿勢を変化させて撮影した複数の前記画像情報を入力し、前記入力された複数の前記画像情報に基づいて将来起こりうる撮影環境変動による前記物体の見え方の変化を推定してモデル化することを特徴とする画像認識方法。

【請求項8】 撮影環境の変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化するステップと、得られた物体モデルを事前にデータベースへ登録しておくステップとを有し、

認識対象となる物体の画像情報を入力するステップと、事前に登録されている前記物体モデルと入力された前記画像情報を照合して、登録されている前記物体モデルとの類似度を割り当てるステップと、

割り当てられた前記物体モデルの中で最も類似していると判断された前記認識対象となる物体の種別を出力するステップとを含み、

前記物体の相対的な位置及び姿勢を変化させて撮影した複数の前記画像情報を入力し、前記入力された複数の前記画像情報に基づいて将来起こりうる撮影環境変動による前記物体の見え方の変化を推定してモデル化することを特徴とするコンピュータに実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、物体の画像情報を変換した物体モデルをデータベースに蓄積し、画像認識時にデータベースを照会して物体を認識する画像認識装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】インターネット等に代表されるコンピュータネットワークの進展に伴い、誰でも容易に様々な情報へアクセスすることができるようになった反面、アクセスしているのが本人であるかどうかを確認する技術、すなわち認証技術の重要性が高まっている。詐称者を本人と誤らない、あるいは本人を詐称者として棄却する確率を最小限にする必要があるからである。

【0003】かかる技術分野で最近注目されている技術の一つが、顔の画像による認証技術である。顔は指紋や声紋と同様、本人に固有のものだからであり、画像処理技術の進展によって識別判断の基準として用いる対象となりうるからである。

【0004】顔画像を認証判断の基準とする方法については、従来から種々の方法が開示されている。例えば、特願平11-110020号においては、入力画像から撮影環境の状態を示す環境パラメータと対象物の状態を示す対象状態パラメータ値とを推定し、その値を用いて、入力画像の撮影環境及び対象物の状態が登録画像の

撮影環境及び対象物の状態に一致するように補正した「照合用画像」を用いて認識を行う技術が開示されている。

【0005】以下、開示されている環境パラメータ及び対象状態パラメータを用いた当該画像認識処理について図1から図4を参照しながら説明する。まず図1は、当該画像認識処理のデータベースへの登録フェーズにおける処理の流れを示す。

【0006】図1において、まず登録対象となる画像を入力する(ステップS11)。ここでの画像入力は、正面から撮影した顔画像1枚で良いが、認識精度を高めるためには、正面画像の他に、様々な方向から撮影した顔画像を用意することが望ましい。

【0007】次に、入力した画像から、顔領域を切り出して(ステップS12)、顔領域の画像を得る(ステップS13)。すなわち、図2に示すように、登録対象となる画像上で顔領域を矩形領域で切り出す。

【0008】そして、得られた顔領域画像を各ピクセルを要素に持つN次元ベクトルとみなし、そのベクトルをn次元( $n \leq N$ )の部分空間に射影し(ステップS14)、その射影点をPと表す。図2では、「sashida」の1点に射影されている。

【0009】さらに、撮影環境の状態を示す環境パラメータ値e、対象物の状態を表す対象状態パラメータ値sを推定し、その値と射影点Pとをペアにしてデータベースに登録する(ステップS15)。ここで、画像から撮影環境の状態を示す環境パラメータ値e、対象物の状態を表す対象状態パラメータ値sを推定する一般性のある方法は開示されていない。

【0010】次に、図3は当該画像認識処理における認識フェーズにおける処理の流れを示している。図3において、画像の入力から顔領域画像の切り出しまで(ステップS31～ステップS33)は、図1に示した登録フェーズの場合(ステップS11～ステップS13)と同様になる。

【0011】したがって、部分空間への射影は、図4に示すように「sashida」の1点に射影される。

【0012】一方、入力画像から撮影環境の状態を示す環境パラメータ値eと対象物の状態を表す対象状態パラメータ値sを推定する。次に、あらかじめ登録されている登録画像の環境パラメータ値eと対象状態パラメータ値sと一致するように、入力画像から推定したパラメータ値を調整する。この調整によって、入力画像の撮影環境及び対象物の状態が、登録画像の撮影環境及び対象物の状態に一致するような照合用画像を生成する。この照合用画像を部分空間に射影して点Qを得る(ステップS34)。

【0013】そうすることで、登録画像と照合用画像とは、照明等の撮影環境、対象物の位置や姿勢等の状態について同一条件で比較することになる。しかし、パラメ

ータ値を調整して、入力画像の撮影環境及び対象物の状態が、登録画像の撮影環境及び対象物の状態に一致するような照合用画像を生成する一般性のある方法は開示されていない。

【0014】次に、登録されているPとQの部分空間上での距離を計算する(ステップS35)。登録画像すべてについて、同様にして当該空間の距離を算出して、最近接点P<sub>0</sub>を探す(ステップS36)。

【0015】最後に、最近接点P<sub>0</sub>に該当する登録画像を入力画像に対応するものとして認識することになる(ステップS37)。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述したような方法では、(1)画像から撮影環境の状態を示す環境パラメータ値、対象物の状態を表す対象状態パラメータ値を推定すること、(2)パラメータ値を調整して、入力画像の撮影環境及び対象物の状態が、登録画像の撮影環境及び対象物の状態に一致するような照合用画像を生成することがポイントとなっているにもかかわらず、これらの処理を実現する一般的な方法は知られていない。

【0017】特願平11-110020号においては、環境パラメータのうち照明パラメータを、顔領域画像の輝度値の平均値、分散、ヒストグラムから推定することや、環境パラメータのうちカメラパラメータとして、撮影に利用したカメラの解像度や、フォーカス、露出を用いることが提案されている。また、対象状態パラメータを、顔領域画像内の肌色占有面積を利用して推定することが提案されている。

【0018】しかし、(1)このようなパラメータ値を正しく推定することは一般に困難である。さらに、

(2)1枚あるいは少数の画像からこれらのパラメータが変化したときに画像がどのように変化するかをモデル化することも困難である。したがって、上述の方法を実際に認識処理に適用するのは困難であると考えられる。

【0019】そのため、画像登録時に正面から撮影した顔画像を利用していることから、入力時に顔の向きが異なっていたり、照明条件が異なっている場合には、本人を詐称者であるものとして、あるいは詐称者を本人であるものとして誤認識する可能性があるという問題点があった。

【0020】本発明は、上記問題点を解消するために、画像認識時における入力画像の撮影条件に依存せずに、登録画像との照合を精度良く行うことができる画像認識装置及び方法を提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明にかかる画像認識装置は、撮影環境の変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化する物体モデル化実行部と、物体モデル化実行部において得られた物体モデルを事前にデータベースへ登録しておく物体モデ

ル登録部とを有し、認識対象となる物体の画像情報を入力する画像情報入力部と、物体モデル登録部において事前に登録されている物体モデルと入力された画像情報を照合して、登録されている物体モデルとの類似度を割り当てる類似度判断部と、割り当てられた物体モデルの中で最も類似していると判断された認識対象となる物体の種別を出力する物体認識部とを含み、物体モデル化実行部において、固定された画像情報入力部に対する物体の相対的な位置及び姿勢を変化させて撮影した複数の画像情報を入力し、入力された複数の画像情報に基づいて将来起こりうる撮影環境変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化することを特徴とする。

【0022】かかる構成により、物体モデル登録時と入力画像認識時における物体の姿勢の相異による見え方の変動や照明条件の相異による見え方の変動等に左右されることなく、登録されている物体モデルとの照合を精度良く行うことが可能となる。

【0023】また、本発明にかかる画像認識装置は、認識対象となる物体の表面特性としてランバート反射モデルを仮定することが好ましい。照明変動による見え方の変動を予測しやすいからである。

【0024】また、本発明にかかる画像認識装置は、画像情報入力部において、画像から認識対象となる物体が存在する部分を切り出し、切り出された部分画像を用いて認識対象となる物体のモデル化を行うことが好ましい。余分な画像情報による誤認識を防止することができるからである。

【0025】また、本発明にかかる画像認識装置は、画像情報入力部において、画像から認識対象となる物体中の特徴的な小領域を選択し、選択された小領域に含まれる情報と小領域の配置情報に基づいて認識対象となる物体のモデル化を行うことが好ましい。特徴部分が画像によって部分的に隠された状態となっている場合も対応することができるからである。

【0026】また、サンプルデータが少ない場合、本発明にかかる画像認識装置は、物体モデル化実行部において、入力された画像情報に基づいて、物体の姿勢変化による見え方の変動と照明条件の変化による見え方の変動とを分離してモデル化を行うことが好ましい。サンプルデータが少ない場合であっても、正確に見え方の変動を推定することができるからである。

【0027】また、サンプルデータが十分に有る場合、本発明にかかる画像認識装置は、物体モデル化実行部において、入力された画像情報に基づいて、物体の姿勢変化による見え方の変動と照明条件の変化による見え方の変動とを分離せずにモデル化を行うことが好ましい。サンプルデータが十分に有る場合においては、あえて分離してモデル化を行うことによって、近似的にモデル化する必要はなく、直接的に見え方の変動を求めることができるからである。

【0028】また、本発明は、上記のような画像認識装置の機能をコンピュータの処理ステップとして実行するソフトウェアを特徴とするものであり、具体的には、撮影環境の変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化する工程と、得られた物体モデルを事前にデータベースへ登録しておく工程とを有し、認識対象となる物体の画像情報を入力する工程と、事前に登録されている物体モデルと入力された画像情報を照合して、登録されている物体モデルとの類似度を割り当てる工程と、割り当てられた物体モデルの中で最も類似していると判断された認識対象となる物体の種別を出力する工程とを含み、物体の相対的な位置及び姿勢を変化させて撮影した複数の画像情報を入力し、入力された複数の画像情報に基づいて将来起こりうる撮影環境変動による物体の見え方の変化を推定してモデル化する画像認識方法並びにそのような工程をプログラムとして記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であることを特徴とする。

【0029】かかる構成により、コンピュータ上へ当該プログラムをロードさせ実行することで、物体モデル登録時と入力画像認識時における物体の姿勢の相異による見え方の変動や照明条件の相異による見え方の変動等に左右されることなく、登録されている物体モデルとの照合を精度良く行うことができる画像認識装置を実現することが可能となる。

【0030】

【発明の実施の形態】（実施の形態1）以下、本発明の実施の形態1にかかる画像認識装置について、図面を参照しながら説明する。図5は本発明の実施の形態1にかかる画像認識装置の構成図である。図5において、51は画像情報入力部を、52は物体モデル化実行部を、53は物体モデル登録部を、54は物体モデルデータベースを、55は類似度判断部を、56は物体認識部を、それぞれ示す。

【0031】図5において、画像情報入力部51は、認識対象となる画像を撮影するカメラや、当該カメラによって撮影された写真等を読み込むスキャナ、撮影された画像を圧縮して磁気記録媒体に保存しているファイルの読込装置等の、画像情報を入力するために用意された部分を示している。そして、画像情報入力部51から入力された画像情報に基づいて、物体モデル化実行部52において認識対象となるべき物体について、モデル化することになる。

【0032】物体モデル化実行部52における画像情報のモデル化手法には種々の方法が考えられる。例えば特願平11-110020号においては、上述したように特徴パラメータを用いて物体モデルを一義的に表す方法が開示されている。

【0033】しかし、このようなモデル化手法では、以下の問題が発生する。まず、モデル化する際に入力する画像が、一つの物体について一つのみであることから、

光源の位置や照度等の相異によって、同一の物体を同一のカメラ位置で撮影した場合であっても、異なる物体であると誤認識されてしまう可能性が残されるという問題である。

【0034】また、光源の位置や照度等が同一であっても、カメラと物体の位置が相異すれば、同様に異なる物体であると認識されてしまう可能性が高いという問題である。すなわち、カメラの角度やカメラとの距離が相異すれば、撮影される画像の大小や角度が大きく変化し、固有空間上の位置が大きく前後することで、異なる物体であると誤認識されてしまう可能性が高くなることも十分に予想されるからである。

【0035】かかる問題を解決するため、本実施の形態においては、登録時に、固定された画像情報入力部に対して物体の姿勢を連続的に変化させて、その連続画像に基づいて、入力時の環境変動、すなわち照明条件、対象物体の状態（カメラとの相対姿勢や相対距離）の相異によって画像がどのように変化するかを予測し、当該予測に基づいた物体モデルを、部分空間として物体モデルデータベース54に登録する点に特徴を有する。

【0036】以下、本実施の形態にかかる画像認識装置におけるモデル化手法について、図6及び図7を参照しながら説明する。まず、図6は本実施の形態にかかる画像認識装置における登録フェーズのモデル化処理の流れを示している。

【0037】図6に示すように、まず画像を入力するのであるが（ステップS61）、入力するのは一つの画像自体ではなく、連続した複数の画像である。すなわち、図7に示すように、顔画像であっても正面から撮影した画像だけではなく、登録用の画像系列として徐々に首を振った連続的な画像を入力することになる。

【0038】次に、入力された画像系列について、各小領域を連続した複数の画像について追跡することで、連続した複数の画像から小領域の系列として選択することになる（ステップS62）。すなわち、入力された画像系列について、「目」なら「目」を表す小領域について小領域系列として選択することになる。

【0039】そして、選択された小領域系列に基づいて、部分空間を新たに生成する（ステップS63）。具体的には、図7に示すように、連続した画像について対応する部分、例えば顔画像で有れば「目の領域」について、部分空間を同定し、それを窓部分空間と呼ぶ。

【0040】当該窓部分空間においては、物体の位置や姿勢等の幾何学的変動や照明の位置や照度等の変動によって生じる小領域画像の見え方の変動をカバーしている。このような窓部分空間を、「目の領域」、「鼻の領域」、・・・のように個々の領域に対応して同定し、そのセットを、物体モデルとして物体モデルデータベース54に登録する（ステップS64）。

【0041】次に、入力された画像を実際に認識する際

の処理について図8及び図9を参照しながら説明する。図8は当該画像認識処理における画像認識処理の流れ図を示している。

【0042】図8において、物体モデルデータベース54の照会対象となる画像を入力する（ステップS81）。次に、その画像から顔領域を切り出し（ステップS82）、さらに、顔領域の中から特徴的な部分である小領域（窓）を複数選択する（ステップS83）。窓の選択方法の具体例としては、特願平11-110020号において実施形態2で用いられている「エッジ強度」を用いる方法等が考えられる。そして、図9のように、各窓の画素値を要素として持つベクトル（窓ベクトル）を、物体モデルデータベース54に登録されている各窓部分空間に射影する（ステップS84）。

【0043】類似度判断部55において、窓ベクトルを窓部分空間に射影したときの垂線の足の長さを計算し、その長さに基づいて小領域と窓部分空間との類似度を定義する（ステップS85）。そして、最も当該小領域に近い窓部分空間を見出し（ステップS86）、かかる部分空間を有する登録物体モデルを入力画像中の物体の候補とする。入力画像中のすべての窓について同様の処理を行い、最終的に物体認識部56で結果を統合して認識を行う（ステップS87）。

【0044】なお、本実施の形態にかかる画像認識装置におけるモデル化手法においては、光源がどこにあるのか等はモデル化時点では問わない。しかし、連続画像撮影時には光源の位置や角度は変化させないことが必要条件となる。変化してしまうと、入力時の撮影条件の変化に対する画像変化の予測計算が困難になるからである。

【0045】次に、登録時の窓部分空間の同定について、より詳細に説明する。まず、物体表面上の画素に対応する小領域である面素 $Q_i$ を考える。面素 $Q_i$ は反射係数 $a_i$ を有するランベーション面（Lambertian）であるものと仮定する。ここでランベーション面とは、鏡面反射のない反射面であることを意味する。

【0046】一般に、登録時と同じ顔を撮影する場合であっても、面素 $Q_i$ とカメラ位置の相対関係や照明条件等が登録時に撮影したときの状況と一致することはまずあり得ない。したがって、入力時の撮影条件の変化によって、対応する窓内の対応する位置の画素値も変化することになる。

【0047】例えば、窓を固定した座標系において、座標ベクトル $x$ における変化前の画素値を $I(x)$ 、変化後の画素値を $I'(x)$ とする。照明変動がないものと仮定した上で、選択された窓において回転量、サイズ変化量等が小さい場合には、窓固定座標系において対応する点の移動量 $\Delta x$ は（数1）で表される。なお、（数1）において、 $A$ はアフィン変換のパラメータを要素として持つ $2 \times 2$ 行列を、 $d$ はアフィン変換のパラメータ

を要素として持つ $2 \times 1$ の列ベクトルを、 $D = I - A$ において $I$ は $2 \times 2$ の単位行列を、それぞれ示す。

【0048】

【数1】

$$\begin{aligned}\Delta \mathbf{x} &= \mathbf{x} - \mathbf{x}_b \\ &= \mathbf{x} - (A \mathbf{x} + \mathbf{d}) \\ &= (I - A) \mathbf{x} + \mathbf{d} \\ &= D \mathbf{x} + \mathbf{d}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}I'(\mathbf{x}) &= I(\mathbf{x} - \Delta \mathbf{x})^* \\ &= I(\mathbf{x} - D \mathbf{x} - \mathbf{d})\end{aligned}$$

$$= I(\mathbf{x}) - \left\{ u \cdot \frac{\partial I(\mathbf{x})}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial I(\mathbf{x})}{\partial y} \right\}$$

$$+ O(u^2, v^2)$$

$$= I(\mathbf{x}) - (I_x u + I_y v)$$

$$\text{ここで、} I_x = \frac{\partial I(\mathbf{x})}{\partial x}, \quad I_y = \frac{\partial I(\mathbf{x})}{\partial y},$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_{xx} & d_{xy} \\ d_{yx} & d_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \end{bmatrix},$$

$$D = \begin{bmatrix} d_{xx} & d_{xy} \\ d_{yx} & d_{yy} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{d} = \begin{bmatrix} d_x \\ d_y \end{bmatrix}$$

【0051】したがって、変化後の画素値を $I'(\mathbf{x})$ は変化前の画素値を $I(\mathbf{x})$ を用いて(数3)のように表すことができることから、右辺第2項を幾何学的変化のみに基づいた窓内各画素値の変化量ベクトル $\Delta I_g$ と ※

※して、(数4)のように整理できる。

【0052】

【数3】

$$I'(\mathbf{x}) = I(\mathbf{x}) - (d_{xx} d_{xy} d_x d_{yx} d_{yy} d_y) \begin{pmatrix} x I_x \\ y I_x \\ I_x \\ x I_y \\ y I_y \\ I_y \end{pmatrix}$$

【0053】

【数4】

$$I'(\mathbf{x}) = I(\mathbf{x}) + \Delta I_g$$

【0054】以上より、変化量ベクトル $\Delta I_g$ の自由度は'6'であり、窓画像空間における部分空間は(数 ★

★5)で表すことができる以下の6つの基底ベクトル $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ で張ることができる。

【0055】

【数5】

$$\begin{aligned}
 \omega_1 &= (x_1 I_{1x}, x_2 I_{2x}, \dots, x_N I_{Nx})^T \\
 \omega_2 &= (y_1 I_{1x}, y_2 I_{2x}, \dots, y_N I_{Nx})^T \\
 \omega_3 &= (I_{1x}, I_{2x}, \dots, I_{Nx})^T \\
 \omega_4 &= (x_1 I_{1y}, x_2 I_{2y}, \dots, x_N I_{Ny})^T \\
 \omega_5 &= (y_1 I_{1y}, y_2 I_{2y}, \dots, y_N I_{Ny})^T \\
 \omega_6 &= (I_{1y}, I_{2y}, \dots, I_{Ny})^T
 \end{aligned}$$

【0056】一方、照明条件のみが変動する場合について考えると、面素 $Q_i$ のレンズ方向への放射光度 $L_i$ は(数6)のように表すことができる。ここで、ベクトル $n_i$ は面素 $Q_i$ における法線ベクトルを、ベクトル $s$ は光線ベクトルを、それぞれ意味する。

【0057】

【数6】

$$I(x_i) = b k E(x_i)$$

$$= b k a_i (n_i \cdot s) \cdot \frac{\pi}{4} \left[ \frac{d}{f} \right]^2 (u \cdot v)$$

【0060】ここで、 $d$ はレンズの直径、 $f$ は焦点距離、ベクトル $u$ は光軸方向の単位ベクトル、ベクトル $v$ は面素 $Q_i$ からレンズの中心に向かう単位ベクトルを意味する。

【0061】(数7)において、ベクトル $u$ 、 $b k$ 、 $f$ 、 $d$ はカメラが変更されない限り一定であり、窓が十分に小さい場合にはベクトル $v$ は窓内のすべての画素について同一であるものと考えら、ベクトル $s$ も窓内すべての画素について同一であるものと考えられることから、画素値 $I(x_i)$ は対応する面素の法線ベクトル $n_i$ にその面素の反射係数 $a_i$ を乗じたベクトル $a_i n_i$ を

$$\begin{aligned}
 v_x &= (a_1 n_{1x}, a_2 n_{2x}, \dots, a_N n_{Nx})^T \\
 v_y &= (a_1 n_{1y}, a_2 n_{2y}, \dots, a_N n_{Ny})^T \\
 v_z &= (a_1 n_{1z}, a_2 n_{2z}, \dots, a_N n_{Nz})^T
 \end{aligned}$$

【0064】したがって、照明条件が変化、あるいは画素 $Q_i$ とカメラ位置の相対関係が変化する場合はベクトル $\omega_1$ 、 $\omega_2$ 、 $\omega_3$ 、 $\omega_4$ 、 $\omega_5$ 、 $\omega_6$ 、 $v_x$ 、 $v_y$ 、 $v_z$ によって形成される9次元の部分空間内で変動する。したがって、画素 $Q_i$ とカメラ位置の相対関係が変化する場合について十分なサンプルデータを得ることによって、KL変換を用いて9次元の窓部分空間を同定することが可能となる。

【0065】一例として、カメラ及び照明を固定して、面素 $Q_i$ とカメラ位置の相対関係が変化する場合について説明する。まず面素 $Q_i$ が形状変化せずに移動し、その結果として法線ベクトル $n$ が $(n + \Delta n)$ に、レンズ中心への単位ベクトル $v$ が $(v + \Delta v)$ に変化したものとする。また、面素 $Q$ の投影位置もベクトル $x_i$ から $x$ に移動したものとする。

$$L_i = a_i (n_i \cdot s)$$

【0058】撮影するフォトディテクタの開口面積を $b$ 、CCDの光電変換特性が線形であると仮定し比例定数を $k$ とすると、画素値 $I(x_i)$ は(数7)のように表すことができる。

【0059】

【数7】

※ $(a_i n_{ix}, a_i n_{iy}, a_i n_{iz})^T$ とベクトル $s$ との内積に共通の係数を乗じたものと考えられる。

【0062】したがって、画素値 $I(x_i)$ の自由度はベクトル $a_i n_i$ の有する自由度である‘3’であり、照明変動のみの場合の窓画像ベクトルの変動は、(数8)で表すことができる以下の3つの基底ベクトル $v_x$ 、 $v_y$ 、 $v_z$ で張ることができる3次元の部分空間で表すことができる。

【0063】

【数8】

★【0066】また、面素 $Q_i$ の投影位置もベクトル $x_i$ から $x$ に移動したものとする。変化後の面素 $Q_i$ のレンズ方向への表面放射光度 $L_i'$ は(数6)を用いて(数9)のように表すことができる。

【0067】

【数9】

$$L_i' = L_i + a_i (\Delta n \cdot s)$$

【0068】したがって、対応する画素の放射照度を求めることで、画素値 $I'(x_i)$ は(数10)のように表すことができる。ここで $\Delta I_v$ をカメラとの相対位置変化に基づく窓内各画素値の変化量ベクトルとし、 $\Delta I_n$ をカメラとの相対位置変化による照明条件変化に基づく窓内各画素値の変化量ベクトルとする。

【0069】

★50 【数10】

$$I'(x_1) = b k E(x_1)$$

$$= I(x_1) + \Delta I_u + \Delta I_v$$

【0070】ここで、先述した物体とカメラ位置の相対変化のみによる画素値の変化の関係(数4)を考慮する\*

$$I'(x) = I(x) + \Delta I_u + \Delta I_v$$

【0072】ここで $\Delta I_u$ の自由度は'6'であるのに対して、 $\Delta I_u$ 及び $\Delta I_v$ の自由度は'3'であり、かつ $\Delta I_u$ 及び $\Delta I_v$ の意味する部分空間は結局同一の部分空間を表していることから、結局変化量ベクトル $\Delta I = I'(x) - I(x)$ の変動範囲は、最大9次元の部分空間内であることがわかる。

【0073】この場合、サイズの変化や物体の回転に代表される幾何学的な変動について、十分なサンプルデータを取得することは現実的には困難である。しかしながら、ベクトル $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ によって形成される幾何学的変動に対応する部分空間(以下、「ジオメトリック変動部分空間」という。)については、一枚の小領域のみから推定することが可能である。

【0074】そこで、サンプルデータに基づいて、まずジオメトリック変動部分空間を求め、求めたジオメトリック変動部分空間の成分を取り除いた成分の分布を求める。この分布をKL変換することで、 $\nu_x, \nu_y, \nu_z$ によって形成される測光学的変動に対応する部分空間(以下、「フォトメトリック変動部分空間」という。)を求めることができる。こうすることで、任意の部分空間をジオメトリック変動部分空間とフォトメトリック変動部分空間とを用いて表すことが可能となる。

【0075】また、部分空間の同定には大別して2つの方法が考えられる。一つはジオメトリック変動部分空間とフォトメトリック変動部分空間とが直交しているものと仮定する方法、今一つは十分なサンプルデータが有る場合に用いるジオメトリック変動部分空間とフォトメトリック変動部分空間とを分けずに直接同定する方法である。

【0076】まず、ジオメトリック変動部分空間とフォトメトリック変動部分空間とが直交しているものと仮定する方法について説明する。初めに、顔画像に関するサンプルデータの収集は、登録対象者に首を振ってもらい、顔の姿勢を変化させることで行う。

【0077】基準小領域は、小領域空間にプロットした一つの小領域変化系列におけるデータ点分布の平均位置、もしくは変動範囲の中心を基準とし、基準小領域ベクトル $x_s$ として保存する。かかる基準としたのは、サンプルデータの中には偽りのデータも混在し、また幾何学的変形の線形近似の限界やランベーション表面との仮定からの逸脱、あるいは雑音の存在等によって、本来の部分空間から逸脱しているデータも存在するからである。

\*と、 $I(x_1) = I(x) + \Delta I_u$ と考えることができるので、(数10)は(数11)のように表すことができる。

【0071】

【数11】

※【0078】求めた基準小領域ベクトル $x_s$ から、ベクトル $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ を(数5)に基づいて計算する。画素値の微分はソーベルフィルタ(Sobel Filter)の畳み込みによって近似的に計算するものとする。

【0079】このようにベクトル $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6$ が求まることで、ジオメトリック変動部分空間ベクトル $\Omega$ を同定することができる。ただし、これらのベクトルは必ずしも一次独立とは限らないので、行列 $G = [\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6]^T$ を特異値分解することで、部分空間ベクトル $\Omega$ の正規直交基底ベクトル $u_p$  ( $1 \leq p \leq 6$ )を求める。 $p$ は行列 $G$ の階数である。

【0080】次に、任意の窓画像ベクトル $x$ のジオメトリック変動部分空間 $\Omega$ と直交する成分は、図10に従って求めることができる。図10において、ジオメトリック変動部分空間 $\Omega$ の基準画像ベクトルを $x_s$ とし、ベクトル $x$ とベクトル $x_s$ との差をジオメトリック変動部分空間 $\Omega$ に直交射影したものをベクトル $x'$ とする。

【0081】ジオメトリック変動部分空間 $\Omega$ の直交射影行列 $P$ は、正規直交基底ベクトル $u_p$  ( $1 \leq p \leq 6$ )を用いて(数12)のように表すことができる。

【0082】

【数12】

$$P = \sum_{i=1}^p u_i u_i^T$$

【0083】また、図6のベクトル関係より、 $x' = P * (x - x_s)$ である。ここで、記号'\*'は行列とベクトルの乗算を意味するものとする。

【0084】一方、ジオメトリック変動部分空間 $\Omega$ の直交補空間 $\Omega^\perp$ への直交射影行列 $Q$ は $Q = I - P$  ( $I$ は単位行列)と表すことができることから、任意の小領域ベクトル $x$ のジオメトリック変動部分空間 $\Omega$ と直交する成分は、 $(x - x_s) - x' = Q * (x - x_s)$ として求めることができる。

【0085】こうして求めた $Q * (x - x_s)$ の分布からKL展開することによってフォトメトリック変動部分空間 $\Psi$ を同定する。まず、小領域変化系列に属する全ての小領域ベクトル $x_j$ から $y_j = Q * (x_j - x_s)$  ( $j$ は $1 \leq j$ の自然数)を計算する。そして、(数13)によって、ベクトル $y$ の自己相関行列 $R$ を求める。

※50 【0086】



【数13】

$$R = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M y_i y_i^T$$

【0087】求めた行列Rの固有値・固有ベクトルを求め、降順に $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ とし、各固有値に対応する正規直交固有ベクトルを $v_1, v_2, \dots, v_N$ とする。ここで、固有値を降順に所定の個数 $n$ まで加算した値が固有値の総和に対してしめる割合を累積寄与率と定義すると、累積寄与率が所定のしきい値を超えたときの $q$ （個数）を部分空間の次元数と定める。したがって、フォトメトリック変動部分空間 $\Psi$ の正規直交基底ベクトルは $v_1, v_2, \dots, v_q$ となる。

【0088】このように、ジオメトリック変動部分空間 $\Omega$ とフォトメトリック変動部分空間 $\Psi$ が同定されるので、これらをベクトル結合することによって環境変動部分空間 $\Gamma$ と窓部分空間 $\Lambda$ を同定する。すなわち、（数14）のように表すことができる。

【0089】（数14）

$$\Gamma = \Omega + \Psi$$

$$\Lambda = x_s + \Gamma$$

【0090】よって、環境変動部分空間 $\Gamma$ の正規直交基底ベクトルは、ジオメトリック変動部分空間 $\Omega$ の正規直交基底ベクトルを並べた行列 $U = [u_1, u_2, \dots, u_p]$ とフォトメトリック変動部分空間 $\Psi$ の正規直交基底ベクトルを並べた行列 $V = [v_1, v_2, \dots, v_q]$ になる。したがって、ベクトル $w_i = u_i$ （ $i$ は $1 \leq i \leq p$ の自然数）、ベクトル $w_{p+j} = v_j$ （ $j$ は $1 \leq j \leq q$ の自然数）として、環境変動部分空間 $\Gamma$ の正規直交基底ベクトルを並べた行列 $W = [w_1, w_2, \dots, w_r]$ （ $r = p + q$ ）を定めることで、環境変動部分空間 $\Gamma$ として部分空間を定めることが可能となる。

【0091】次に、十分なサンプルデータが有る場合においては、ジオメトリック変動部分空間とフォトメトリック変動部分空間とを分けずに直接部分空間を同定する方法を用いる。

【0092】この方法は、サンプルデータの収集や基準小領域の決定手法は、上述した方法と同様である。部分空間の同定は、ベクトル $(x - x_s)$ の分布から直接KL展開することによって同定する。

【0093】まず、小領域変化系列に属する全ての小領域ベクトル $x_j$ から $y_j = Q * (x_j - x_s)$ （ $j$ は $1 \leq j \leq M$ の自然数）を計算する。そして、ジオメトリック変動部分空間とフォトメトリック変動部分空間とが直交しているものと仮定する方法と同様に、（数13）によってベクトル $y$ の自己相関行列 $R$ を求める。

【0094】求めた行列 $R$ の固有値・固有ベクトルを求め、降順に $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ とし、各固有値に対応する正規直交固有ベクトルを $v_1, v_2, \dots, v_N$ とする。ここで、固有値を降順に所定の個数 $n$ まで加算した

値が固有値の総和に対してしめる割合を累積寄与率と定義すると、累積寄与率が所定のしきい値を超えたときの $r$ （個数）を部分空間の次元数と定める。したがって、環境変動部分空間 $\Gamma$ の正規直交基底ベクトルを並べた行列 $W = [w_1, w_2, \dots, w_r]$ として部分空間を定めることが可能となる。

【0095】このように、入力された画像と登録されている物体モデルとの照合は、上述した方法のいずれかを用いて物体モデルを同定することにより、入力された画像に最も近接した部分空間を同定することによって行われる。

【0096】以上のように本実施の形態によれば、物体モデル登録時と入力画像認識時における物体の姿勢の相異による見え方の変動や照明条件の相異による見え方の変動等に左右されることなく、登録されている物体モデルとの照合を精度良く行うことが可能となる。

【0097】また、本発明の実施の形態にかかる画像認識装置を実現するプログラムを記憶した記録媒体は、図11に示す記録媒体の例に示すように、CD-ROM 112-1やフロッピー（登録商標）ディスク 112-2等の可搬型記録媒体 112だけでなく、通信回線の先に備えられた他の記憶装置 111や、コンピュータ 113のハードディスクやRAM等の記録媒体 114のいずれでも良く、プログラム実行時には、プログラムはローディングされ、主メモリ上で実行される。

【0098】また、本発明の実施の形態にかかる画像認識装置により生成された物体モデルデータ等を記録した記録媒体も、図11に示す記録媒体の例に示すように、CD-ROM 112-1やフロッピーディスク 112-2等の可搬型記録媒体 112だけでなく、通信回線の先に備えられた他の記憶装置 111や、コンピュータ 113のハードディスクやRAM等の記録媒体 114のいずれでも良く、例えば本発明にかかる画像認識装置を利用する際にコンピュータ 113により読み取られる。

【0099】

【発明の効果】以上のように本発明にかかる画像認識装置によれば、物体モデル登録時と入力画像認識時における物体の姿勢の相異による見え方の変動や照明条件の相異による見え方の変動等に左右されることなく、登録されている物体モデルとの照合を精度良く行うことが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 従来の画像認識装置における物体モデル登録処理の流れ図

【図2】 従来の画像認識装置における物体モデル登録処理の概念図

【図3】 従来の画像認識装置における処理の流れ図

【図4】 従来の画像認識装置における処理の概念図

【図5】 本発明の実施の形態にかかる画像認識装置のブロック構成図

【図6】 本発明の実施の形態にかかる画像認識装置における物体モデル登録処理の流れ図

【図7】 本発明の実施の形態にかかる画像認識装置における物体モデル登録処理の概念図

【図8】 本発明の実施の形態にかかる画像認識装置における処理の流れ図

【図9】 本発明の実施の形態にかかる画像認識装置における処理の概念図

【図10】 ジオメトリック変動部分空間と直交する小領域ベクトルの求め方の説明図

【図11】 記録媒体の例示図

【符号の説明】

51 画像情報入力部

52 物体モデル化実行部

53 物体モデル登録部

54 物体モデルデータベース

55 類似度判断部

56 物体認識部

111 回線先の記憶装置

112 CD-ROMやフロッピーディスク等の可搬型記録媒体

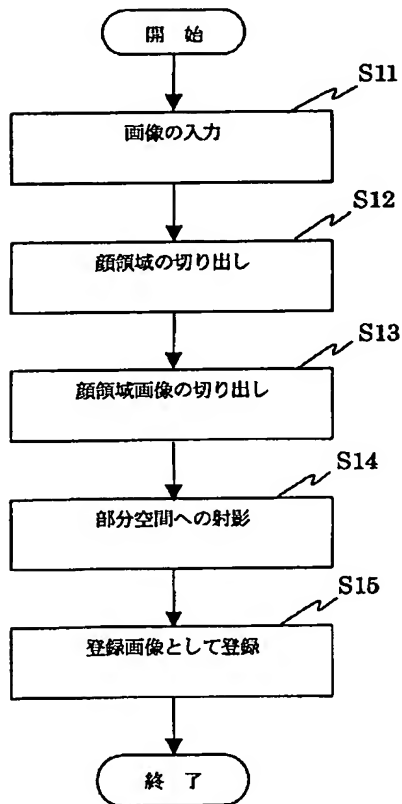
112-1 CD-ROM

112-2 フロッピーディスク

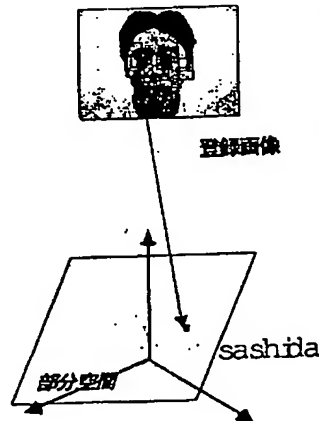
113 コンピュータ

114 コンピュータ上のRAM/ハードディスク等の記録媒体

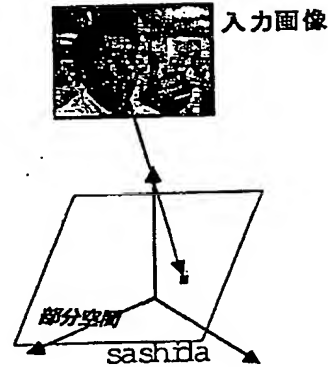
【図1】



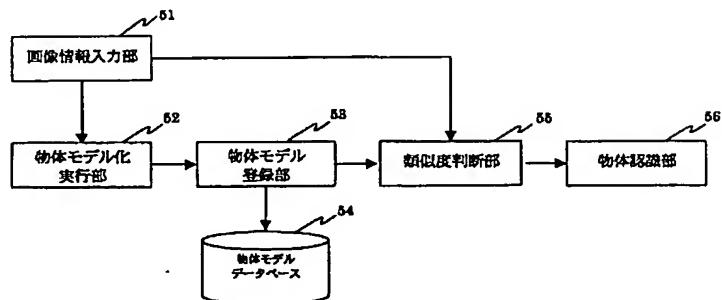
【図2】



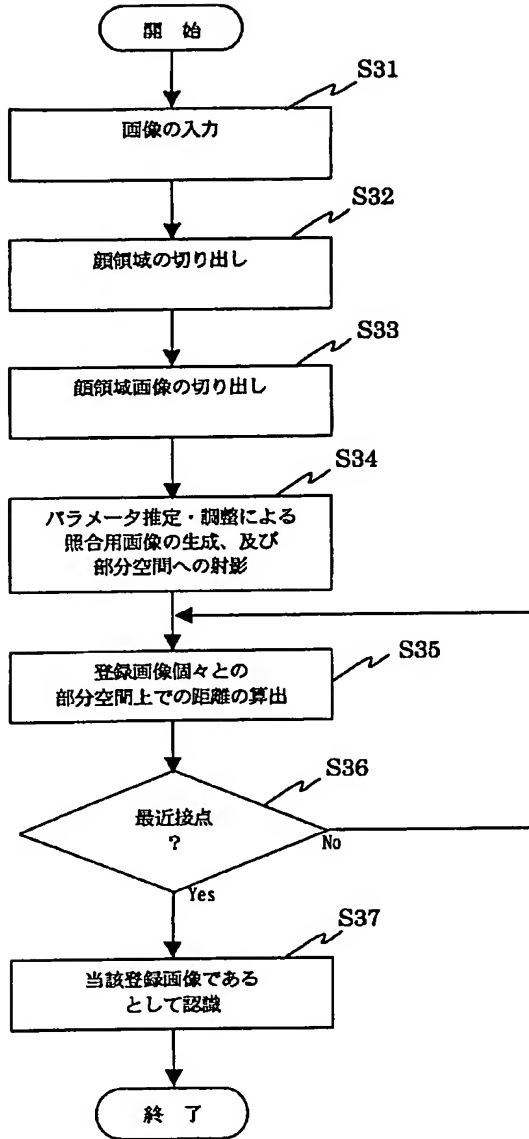
【図4】



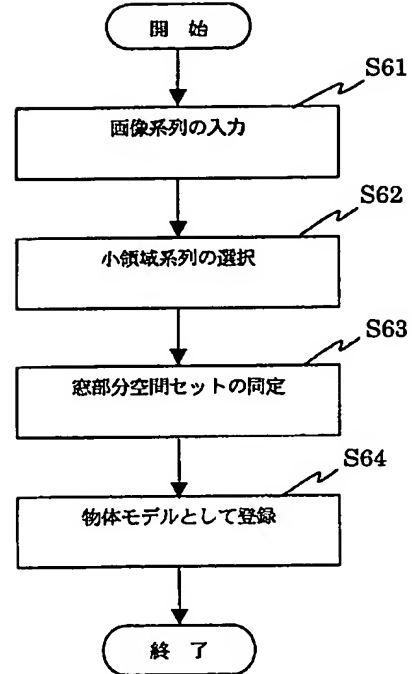
【図5】



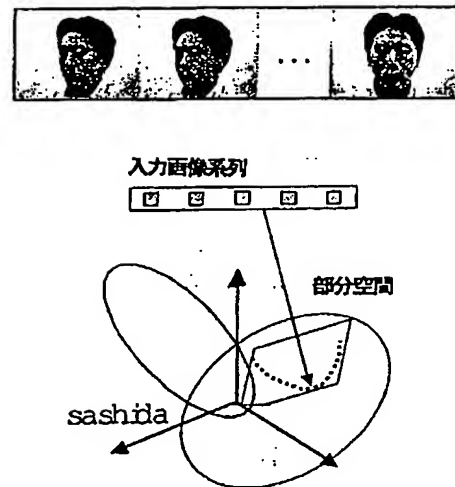
【図3】



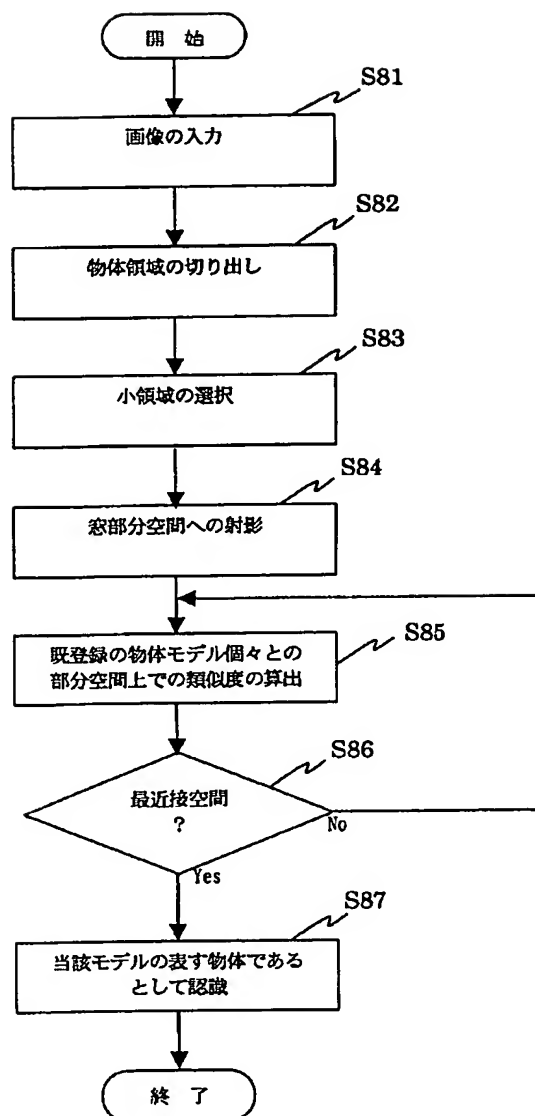
【図6】



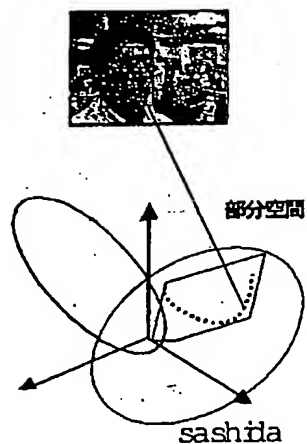
【図7】



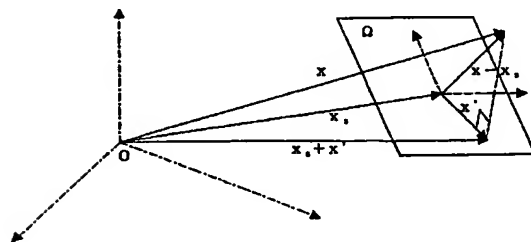
【図8】



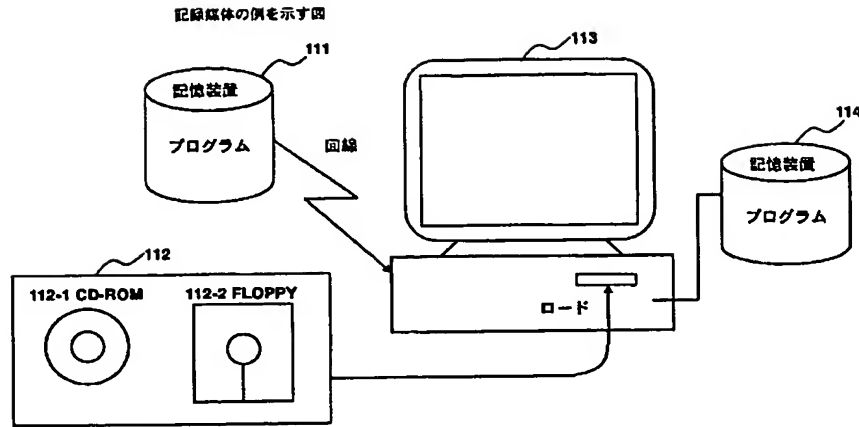
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 北川 博紀  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72)発明者 長田 茂美  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

Fターム(参考) 2F065 AA04 AA53 BB05 CC16 DD03  
FF42 GG01 HH02 JJ03 JJ26  
QQ17 QQ24 QQ33 QQ36 QQ38  
RR02 RR05  
4C038 VA07 VB03 VC05  
5B043 AA09 BA04 DA05 EA02 FA07  
GA03 GA05  
5L096 BA18 CA04 FA67 FA76 JA03  
KA13